

1115.64887

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In Re U.S. Patent Application)
)
Applicant: Jongill et al.)
)
Serial No.)
)
Filed: November 30, 2000)
)
For: MAGNETORESISTIVE FILM,)
MAGNETORESISTIVE HEAD, INFORMATION)
REGENERATION APPARATUS, AND)
MAGNETORESISTIVE FILM MANUFACTURE)
METHOD)
)
Art Unit:)

*I hereby certify that this paper is being deposited
with the United States Postal Service as EXPRESS
mail in an envelope addressed to: Assistant
Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231,
on November 30, 2000.*

Express Label No.: EL769180867US

Signature: J. F.



Handwritten initials and date: 2/13/01

CLAIM FOR PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

Applicants claim foreign priority benefits under 35 U.S.C. § 119 on the basis
of the foreign application identified below:

Japanese Patent Application No. 2000-033698, filed Feb. 10, 2000.

A certified copy of the priority document is enclosed.

Respectfully submitted,

GREER, BURNS & CRAIN, LTD.

By:

Handwritten signature of James K. Folker

James K. Folker

Reg. No. 37,538

November 30, 2000

300-South-Wacker-Drive

Suite 2500

Chicago, IL 60606

1115-64887
(312) 360 0080

JC966 U.S. PTO
09/726752
11/30/00

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2000年 2月10日

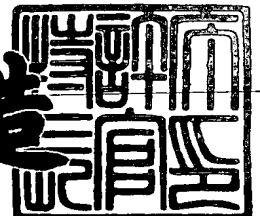
出 願 番 号
Application Number: 特願2000-033698

出 願 人
Applicant(s): 富士通株式会社

2000年 8月25日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3067568

【書類名】 特許願

【整理番号】 9951991

【提出日】 平成12年 2月10日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明の名称】 磁気抵抗効果膜、磁気抵抗効果型ヘッド、情報再生装置、および磁気抵抗効果膜製造方法

【請求項の数】 14

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 洪 鍾一

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 青島 賢一

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 野間 賢二

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 兼 淳一

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 金井 均

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100094330

【弁理士】

【氏名又は名称】 山田 正紀

【選任した代理人】

【識別番号】 100109689

【弁理士】

【氏名又は名称】 三上 結

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 017961

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9912909

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気抵抗効果膜、磁気抵抗効果型ヘッド、情報再生装置、および磁気抵抗効果膜製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、該固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、該中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜であって、該固定磁性層の磁化の方向と該自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜において、

前記自由磁性層上に直接に、あるいは該自由磁性層との間に該自由磁性層を構成する材料が酸化された材料からなる酸化層を挟んで、銅元素を含む酸化物からなる銅酸化物層が形成されてなるものであることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 2】 前記銅酸化物層が、10 Å以上の厚みを有するものであることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 3】 前記酸化層が、5 Å以上の厚みを有するものであることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 4】 前記銅酸化物層上に、該銅酸化物層を保護する保護層が形成されてなるものであることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 5】 前記保護層が、酸化物からなるものであることを特徴とする請求項 4 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 6】 前記保護層が、 Al_2O_3 からなるものであることを特徴とする請求項 5 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 7】 前記自由磁性層が、30 Å以下の厚みを有するものであることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 8】 方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、該固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、該中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜であって、該固定磁性層の磁化の方向と該自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜において、

前記中間層が、34 Å以下の厚みを有するものであって、

前記固定磁性層の磁化と前記自由磁性層の磁化とを互いに逆方向に向かせる結合磁界をそれらの磁化の間に働かせる結合層が、上記自由磁性層上に形成されてなるものであることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項9】 方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、該固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、該中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、該固定磁性層の磁化の方向と該自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を備え、該磁気抵抗効果膜の抵抗の大きさを検知することにより前記外部磁界の強さを検知することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記自由磁性層上に直接に、あるいは該自由磁性層との間に該自由磁性層を構成する材料が酸化された材料からなる酸化層を挟んで、銅元素を含む酸化物からなる銅酸化物層が形成されてなるものであることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項10】 磁化の方向により情報が記録された磁気記録媒体に近接あるいは接触して配置されて該磁気記録媒体各点の磁化の方向を検出する磁気ヘッドを備え、該磁気ヘッドにより検出された前記磁気記録媒体各点の磁化の方向に応じた情報を再生する情報再生装置において、

前記磁気ヘッドが、

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、該固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、該中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、該固定磁性層の磁化の方向と該自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を備え、該磁気抵抗効果膜の抵抗の大きさを検知することにより前記外部磁界の強さを検知するものであって、

前記自由磁性層上に直接に、あるいは該自由磁性層との間に該自由磁性層を構成する材料が酸化された材料からなる酸化層を挟んで、銅元素を含む酸化物からなる銅酸化物層が形成されてなるものであることを特徴とする情報再生装置。

【請求項 1 1】 方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、該固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、該中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜であって、該固定磁性層の磁化の方向と該自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を製造する磁気抵抗効果膜製造方法において、

前記中間層を積層した後、該中間層上に前記自由磁性層を構成する材料からなる自由磁性材料層を積層する自由磁性材料層積層工程と、

前記自由磁性材料層積層工程で積層された自由磁性材料層上に、金属からなる金属層を積層する金属層積層工程と、

前記金属層積層工程によって積層された金属層をプラズマ状態の酸素にさらすことによって該金属層を酸化させるプラズマ酸化工程とを有することを特徴とする磁気抵抗効果膜製造方法。

【請求項 1 2】 前記プラズマ酸化工程が、前記金属層と、さらに前記自由磁性材料層の該金属層側の一部を酸化させる工程であることを特徴とする請求項 1 1 記載の磁気抵抗効果膜製造方法。

【請求項 1 3】 前記プラズマ酸化工程が、前記金属層上への新たな層の積層と同時にされる工程であることを特徴とする請求項 1 1 記載の磁気抵抗効果膜製造方法。

【請求項 1 4】 方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、該固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、該中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜であって、該固定磁性層の磁化の方向と該自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を製造する磁気抵抗効果膜製造方法において、

前記中間層上に前記自由磁性層を構成する材料からなる自由磁性材料層を積層する自由磁性材料層積層工程と、

前記自由磁性材料層積層工程で積層された自由磁性材料層上に所定の酸化制御層を積層する酸化制御層積層工程と、

前記酸化制御層積層工程で積層された酸化制御層をプラズマ状態の酸素にさらすことによって、該酸化制御層を通して前記自由磁性材料層が該酸化制御層側か

ら厚み方向に所定の深さまで酸化するプラズマ酸化工程とを有することを特徴とする磁気抵抗効果膜製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁界の強さに応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果膜、磁気抵抗効果膜の抵抗変化により磁界の強さを検知する磁気抵抗効果型ヘッド、記録媒体に記録された情報を再生する情報再生装置、および磁気抵抗効果膜を製造する磁気抵抗効果膜製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、コンピュータの普及に伴って、日常的に多量の情報が取り扱われるようになってきている。このような情報は、多数の物理的な印によって記録媒体に記録され、その記録媒体上の印を読み取って電気的な再生信号を生成する情報再生装置により再生される。

【0003】

ハードディスク装置（HDD：Hard Disk Drive）は、そのような情報再生装置の1つであり、記憶容量が大きく情報へのアクセス速度が速いという特徴を持つ。このHDDは、一般に、表面が磁性材料からなる記録媒体である磁気ディスク、およびこの磁気ディスクに記録された情報を再生する再生ヘッドを備えている。磁気ディスクは、表面が微小領域（1ビット領域）ごとに磁化されており、1ビットの情報がこの1ビット領域の磁化の方向の形で記録される。再生ヘッドは、この磁気ディスクに近接して配置され、磁気ディスクの1ビット領域の磁化から発生する信号磁界 H_{sig} に応じた電気的な再生信号を出力することにより、磁気ディスクに記録された情報を再生する。

【0004】

現在、HDDに搭載されている再生ヘッドの多くには、外部からの磁界に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果膜を有する磁気抵抗効果型ヘッド（MRヘッド）が使用されている。このMRヘッドでは、磁気抵抗効果膜に一对の電極端子が配

設され、動作時には、この一対の電極端子から磁気抵抗効果膜にセンス電流が流される。このようにセンス電流が流された状態で、このMRヘッドを磁気ディスクに近接させて相対的に移動させると、磁気ディスクからの信号磁界 H_{sig} に応じて上記磁気抵抗効果膜の電気抵抗値が逐次変化し、この電気抵抗値と上記センス電流値との積で表される値の電圧を持った高出力の再生信号が出力される。

【 0 0 0 5 】

しかし、磁気ディスクの記録密度は年々向上し続けており、その記録密度の向上に伴って1ビット領域の面積が減少し、その1ビット領域から発生する信号磁界 H_{sig} が弱くなるため、このように弱い信号磁界 H_{sig} に対しても大きな再生信号を出力する再生ヘッドが必要となる。このように大きな再生信号を出力する再生ヘッドとして、巨大磁気抵抗（GMR）効果を利用した磁気抵抗効果型ヘッドであるスピバルブ磁気抵抗効果型ヘッド（Spin Valve Magnetoresistive Head）が特開平4-358310号公報により開示されており、また、その実用化が本格的に始まりつつある。

【 0 0 0 6 】

このスピバルブ磁気抵抗効果型ヘッドは、外部磁界に応じて磁化の方向が変化する自由磁性層（フリー層）と、このフリー層に隣接して形成された非磁性の金属からなる中間層と、この中間層に隣接して形成された、磁化の方向が所定の方向に固定された固定磁性層（ピン層）と、このピン層に隣接して形成され、このピン層の磁化の方向を固定する反強磁性材料からなる反強磁性層とを含む多層膜であるスピバルブタイプの磁気抵抗効果膜を有する。この磁気抵抗効果膜は、外部磁界が変化すると、この磁気抵抗効果膜のフリー層の磁化の方向が変化し、上記ピン層の磁化の方向とフリー層の磁化の方向の相対的な角度変化に応じた抵抗変化を生ずる。

【 0 0 0 7 】

磁気抵抗効果膜を備えた磁気抵抗効果型ヘッドの再生信号の出力は、外部磁界の変化に応じて変化するシート抵抗の最大値と最小値との差 $\Delta\rho/t$ にほぼ比例するため、磁気抵抗効果に関して、磁気抵抗効果膜の能力はこの差 $\Delta\rho/t$ によって評価されることが多い。以下では、この変化するシート抵抗の最大値と最小

値との差 $\Delta \rho / t$ を、抵抗変化 $\Delta \rho / t$ と称する。上記スピバルブタイプの磁気抵抗効果膜は、この抵抗変化 $\Delta \rho / t$ が大きいため、この磁気抵抗効果膜を備えた磁気抵抗効果型ヘッドからは高出力の再生信号が得られる。

【 0 0 0 8 】

このスピバルブ磁気抵抗効果型ヘッドは、このように高出力の再生信号を出力するものであるが、磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ をさらに増大させることにより、さらに高出力化することが望まれている。さらに抵抗変化 $\Delta \rho / t$ を増大させる方策の一つとして、上記中間層の厚みの低減がある。中間層の厚みが大きすぎると、この中間層に、磁気抵抗効果に寄与しない余分なシャント電流が流れて上記抵抗変化 $\Delta \rho / t$ が減少するが、この中間層を薄層化することによってその抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の減少が抑えられる。

【 0 0 0 9 】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の磁気抵抗効果膜には、フリー層の磁化とピン層の磁化との間に、通常、これらの磁化の方向を互いに同じ方向に向かせるように結合磁界 (Inter Layer Coupling Field) H_{in} が働いており、中間層の薄層化を進めると、この結合磁界 H_{in} が増大する。以下では、結合磁界 H_{in} は、上記磁化の方向を互いに同じ方向に向かせる場合に値が正となり、互いに逆方向に向かせる場合に値が負となるものとする。この結合磁界 H_{in} によって、フリー層の磁化の方向とピン層の磁化の方向とがなす角度にずれが生ずる。

【 0 0 1 0 】

一般に、磁気抵抗効果膜の抵抗値は、磁気ディスクからの信号磁界 H_{sig} の変化に対して線形に変化することが望ましく、このような線形の変化を実現するためには、信号磁界 H_{sig} が存在しない状態でピン層の磁化の方向とフリー層の磁化の方向とが互いに 90° の角度をなすことが理想的である。しかし、上記結合磁界 H_{in} によってこの角度が 90° からずれた状態では、スピバルブ磁気抵抗効果型ヘッドの出力電圧は信号磁界 H_{sig} の入力に対して線形応答せず、この出力電圧の再生波形が歪むなどの障害が発生する。

【 0 0 1 1 】

本発明は上記事情に鑑み、中間層の厚みの低減に伴う結合磁界の増大が抑制された磁気抵抗効果膜、そのような磁気抵抗効果膜を備えた磁気抵抗効果型ヘッド、そのような磁気抵抗効果型ヘッドを備えた情報再生装置、およびそのような磁気抵抗効果膜を製造する磁気抵抗効果膜製造方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する本発明の磁気抵抗効果膜のうちの第 1 の磁気抵抗効果膜は

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、その固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、その固定磁性層の磁化の方向とその自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜であって、

上記自由磁性層上に直接に、あるいはその自由磁性層との間にその自由磁性層を構成する材料が酸化された材料からなる酸化層を挟んで、銅元素を含む酸化物からなる銅酸化物層が形成されてなるものであることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

ここで、銅酸化物層は、上記自由磁性層上に隣接して形成されたものであってもよく、また、上記自由磁性層上に所定の層を挟んで形成されたものであってもよい。

【 0 0 1 4 】

この本発明の第 1 の磁気抵抗効果膜のように、自由磁性層上に直接に、あるいはその自由磁性層との間に酸化層を挟んで、銅元素を含む酸化物からなる銅酸化物層が形成されていると、後に実施例に示すように、前述した結合磁界 H_{in} の値が減少し、上記中間層の厚みの低減に伴う結合磁界 H_{in} の増大が抑制される。

【 0 0 1 5 】

一般に、磁気抵抗効果における磁気抵抗効果膜の抵抗変化は、磁気抵抗効果膜中の、伝導電子のスピン依存散乱による平均自由行程の大きさの外部磁界に応じた変化により生じ、この平均自由行程の大きさの変化は、上記鏡面反射によって

増大する。

【0016】

この本発明の第1の磁気抵抗効果膜では、自由磁性層上に直接に上記銅酸化物層が形成されている場合には、この自由磁性層と銅酸化物層との間の界面で、伝導電子がスピンの状態を保ったまま反射する鏡面反射が生じ、自由磁性層上に酸化層を挟んで銅酸化物層が形成されている場合には、この自由磁性層と酸化層との間の界面と、この酸化層と上記銅酸化物層との間の界面とで、鏡面反射が生ずる。このため、この本発明の第1の磁気抵抗効果膜は、これらの界面で鏡面反射が生ずることにより、大きな抵抗変化 $\Delta \rho / t$ を示す。

【0017】

上記本発明の磁気抵抗効果膜は、上記銅酸化物層が、10 Å以上の厚みを有するものであることが好ましい。

【0018】

後に実施例に示すように、銅酸化物層がこのように10 Å以上の厚みを有する場合に、上記結合磁界 H_{in} の増大の抑制が有効に行われる。

【0019】

また、上記本発明の磁気抵抗効果膜は、酸化層を有するものである場合、その酸化層が、5 Å以上の厚みを有するものであることが好ましい。

【0020】

この第1の磁気抵抗効果膜は、酸化層の厚みが5 Å以上であることにより、後に実施形態で述べるように、上記結合磁界 H_{in} が小さく、また、自由磁性層と酸化層との間の界面で伝導電子の鏡面反射が良好に行われる。

【0021】

また、上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜は、上記銅酸化物層上に、その銅酸化物層を保護する保護層が形成されてなるものであることが好ましい。

【0022】

上記保護層を有する第1の磁気抵抗効果膜は、上記保護層が、酸化物からなるものであることが好ましい。

【0023】

上記保護層が酸化物からなる第 1 の磁気抵抗効果膜は、上記保護層が、 Al_2O_3 からなるものであることが好ましい。

【 0 0 2 4 】

上記銅酸化物層は、上記保護層によって、物理的に保護されるとともに、さらなる酸化の防止など化学的にも保護される。

【 0 0 2 5 】

また、上記本発明の第 1 の磁気抵抗効果膜は、上記自由磁性層が、 30 \AA 以下の厚みを有するものであることが好ましい。

【 0 0 2 6 】

磁気抵抗効果膜中の伝導電子の、スピンの依存しない通常の散乱による平均自由行程は、およそ 60 \AA である。自由磁性層の厚みが 30 \AA 以上の場合には、その伝導電子は、自由磁性層と上記銅酸化物層などとの界面で鏡面反射する前に散乱してしまいやすいため、上記鏡面反射による抵抗変化 $\Delta\rho/t$ の増大は小さい。これに対し、自由磁性層の厚みが 30 \AA 以下である磁気抵抗効果膜では、上記鏡面反射による抵抗変化 $\Delta\rho/t$ の増大は大きい。

【 0 0 2 7 】

上記目的を達成する本発明の磁気抵抗効果膜のうちの第 2 の磁気抵抗効果膜は、

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、その固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、その固定磁性層の磁化の方向とその自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜であって、

上記中間層が、 34 \AA 以下の厚みを有するものであり、

上記固定磁性層の磁化と上記自由磁性層の磁化とを互いに逆方向に向かせる結合磁界をそれらの磁化の間に働かせる結合層が、上記自由磁性層上に形成されるものであることを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

ここでいう結合層は、例えば、上記本発明の第 1 の磁気抵抗効果膜においては

、銅酸化物層、あるいは銅酸化物層と酸化層との複合層に相当するが、この結合層は、これらの層に限るものでなく、上記固定磁性層の磁化と上記自由磁性層の磁化とを互いに逆方向に向かせる結合磁界をそれらの磁化の間に働かせる層であればよい。

【 0 0 2 9 】

従来、実用化されている磁気抵抗効果膜は、上記中間層の厚みが 34 \AA 以下であり、この第 1 の磁気抵抗効果膜には、上記磁化どうしを互いに同方向に向かせるような結合磁界 H_{in} が働き、上記中間層の厚みを低減させることにより、その結合磁界 H_{in} は増大してしまう。これに対し、この第 2 の磁気抵抗効果膜は、上記結合層を有するため、上記中間層の厚みが 34 \AA 以下である場合にも上記結合磁界の値が負となるので、その中間層の厚みを低減することにより結合磁界 H_{in} の値をゼロに近づけることができる。

【 0 0 3 0 】

上記目的を達成する本発明の磁気抵抗効果型ヘッドのうちの第 1 の磁気抵抗効果型ヘッドは、

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、その固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、その固定磁性層の磁化の方向とその自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を備え、その磁気抵抗効果膜の抵抗の大きさを検知することにより上記外部磁界の強さを検知することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッドであって、

上記自由磁性層上に直接に、あるいはその自由磁性層との間にその自由磁性層を構成する材料が酸化された材料からなる酸化層を挟んで、銅元素を含む酸化物からなる銅酸化物層が形成されてなるものであることを特徴とする。

【 0 0 3 1 】

一般に、磁気抵抗効果型ヘッドで用いられる、固定側磁性層の磁化方向と自由側磁性層の磁化方向とは、信号磁界 H_{sig} が存在しない状態で互いに 90° の角度をなすことが理想的である。しかし、上記結合磁界 H_{in} 等の余分な磁界が存在すると、この角度が 90° からずれ、この角度が 90° からずれた状態では、磁

気抵抗効果型ヘッドから出力される再生信号の再生波形が歪む。

【 0 0 3 2 】

この第 1 の磁気抵抗効果型ヘッドは、磁気抵抗効果膜として上記本発明の第 1 の磁気抵抗効果膜を採用したものであって、余分な結合磁界 H_{in} の、上記中間層の厚みの減少に伴う増大が抑制されているため、この第 1 の磁気抵抗効果型ヘッドは、再生波形の歪みが抑制されたものとなっている。

【 0 0 3 3 】

上記目的を達成する本発明の磁気抵抗効果型ヘッドのうちの第 2 の磁気抵抗効果型ヘッドは、

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、その固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、その固定磁性層の磁化の方向とその自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を備え、その磁気抵抗効果膜の抵抗の大きさを検知することにより上記外部磁界の強さを検知することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッドであって、

上記中間層が、 34 \AA 以下の厚みを有するものであり、

上記固定磁性層の磁化と上記自由磁性層の磁化とを互いに逆方向に向かせる結合磁界をそれらの磁化の間に働かせる結合層が、上記自由磁性層上に形成されてなるものであることを特徴とする。

【 0 0 3 4 】

この第 2 の磁気抵抗効果型ヘッドは、磁気抵抗効果膜として上記本発明の第 2 の磁気抵抗効果膜を採用したものであって、上記中間層の厚みをさらに低減すると結合磁界 H_{in} の値をゼロに近づけることができるため、この第 2 の磁気抵抗効果型ヘッドでは、再生波形の歪みを抑制することができる。

【 0 0 3 5 】

上記目的を達成する本発明の情報再生装置のうちの第 1 の情報再生装置は、

磁化の方向により情報が記録された磁気記録媒体に近接あるいは接触して配置されてその磁気記録媒体各点の磁化の方向を検出する磁気ヘッドを備え、その磁気ヘッドにより検出された上記磁気記録媒体各点の磁化の方向に応じた情報を再

生する情報再生装置であって、

上記磁気ヘッドが、

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、その固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、その固定磁性層の磁化の方向とその自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を備え、その磁気抵抗効果膜の抵抗の大きさを検知することにより上記外部磁界の強さを検知するものであって、上記自由磁性層上に直接に、あるいはその自由磁性層との間にその自由磁性層を構成する材料が酸化された材料からなる酸化層を挟んで、銅元素を含む酸化物からなる銅酸化物層が形成されてなるものであることを特徴とする。

【 0 0 3 6 】

この第 1 の情報再生装置は、磁気ヘッドに上記本発明の第 1 の磁気抵抗効果型ヘッドを採用したものである。この磁気ヘッドは、上記第 1 の磁気抵抗効果型ヘッドと同様に、再生波形の歪みが抑制されたものであるため、この第 1 の情報再生装置は、磁気記録媒体各点の磁化の方向を検出する感度が高く、磁気記録媒体に高密度に記録された情報の再生に適している。

【 0 0 3 7 】

上記目的を達成する本発明の情報再生装置のうちの第 2 の情報再生装置は、

磁化の方向により情報が記録された磁気記録媒体に近接あるいは接触して配置されてその磁気記録媒体各点の磁化の方向を検出する磁気ヘッドを備え、その磁気ヘッドにより検出された上記磁気記録媒体各点の磁化の方向に応じた情報を再生する情報再生装置であって、

上記磁気ヘッドが、

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、その固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、その固定磁性層の磁化の方向とその自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を備え、その磁気抵抗効果膜の抵抗の大きさを検知することにより上記

外部磁界の強さを検知するものであって、

上記中間層が、34 Å以下の厚みを有するものであり、

上記固定磁性層の磁化と上記自由磁性層の磁化とを互いに逆方向に向かせる結合磁界をそれらの磁化の間に働かせる結合層が、上記自由磁性層上に形成されてなるものであることを特徴とする。

【0038】

この第2の情報再生装置は、磁気ヘッドに上記本発明の第2の磁気抵抗効果型ヘッドを採用したものである。この磁気ヘッドは、上記第2の磁気抵抗効果型ヘッドと同様に、再生波形の歪みが抑制されたものであるため、この第2の情報再生装置は、磁気記録媒体各点の磁化の方向を検出する感度が高く、磁気記録媒体に高密度に記録された情報の再生に適している。

【0039】

上記目的を達成する本発明の磁気抵抗効果膜製造方法のうちの第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、その固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、その固定磁性層の磁化の方向とその自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を製造する磁気抵抗効果膜製造方法であって、

上記中間層を積層した後、その中間層上に上記自由磁性層を構成する材料からなる自由磁性材料層を積層する自由磁性材料層積層工程と、

上記自由磁性材料層積層工程で積層された自由磁性材料層上に、金属からなる金属層を積層する金属層積層工程と、

上記金属層積層工程によって積層された金属層をプラズマ状態の酸素にさらすことによってその金属層を酸化させるプラズマ酸化工程とを有することを特徴とする。

【0040】

これらの各工程を経て最終的に形成される磁気抵抗効果膜では、上記自由磁性材料層そのもの、あるいは上記自由磁性材料層内の厚さ方向の一部の層が上記自

由磁性層となる。

【0041】

この第1の磁気抵抗効果膜製造方法によれば、後に実施形態で述べるように、上記自由磁性材料層上に積層された上記金属層を上記プラズマ酸化工程で酸化することによって、上記結合磁界 H_{in} が減少した、上記中間層の厚みの減少に伴う結合磁界 H_{in} の増大が抑制された磁気抵抗効果膜が製造される。

【0042】

上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記プラズマ酸化工程が、上記金属層と、さらに上記自由磁性材料層のその金属層側の一部を酸化させる工程であることが好ましい。

【0043】

従来、自由磁性層上に自然酸化によって酸化膜が形成されることがあるけれども、この自然酸化によっては、所望の厚さに制御された酸化膜を形成することが困難である。また、自由磁性層上に、直接、プラズマ酸化を行うことにより酸化膜を形成することは可能であるけれども、このような直接のプラズマ酸化では、強く酸化されすぎてやはり所望の厚さに制御された酸化膜を形成することは困難である。

【0044】

これに対して、この第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、自由磁性層を構成する材料からなる自由磁性材料層上に上記金属層を形成し、プラズマ酸化工程によってこの金属層を通して上記自由磁性材料層の一部を酸化するものであるため、上記自由磁性材料層が酸化されてなる酸化層を、所望の厚さになるように制御しながら形成することができる。そして、このような厚さの制御された酸化層を形成することにより、上記結合磁界 H_{in} を制御することができる。

【0045】

また、上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記金属層積層工程で積層された金属層が、銅あるいは銅合金からなることが好ましい。

【0046】

このように銅あるいは銅合金からなる金属層では、上記結合磁界 H_{in} の制御が

有効に行われる。

【0047】

また、上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記プラズマ酸化工程が、上記金属層上への新たな層の積層と同時に行われる工程であることが好ましい。

【0048】

上記新たな層の積層を含む第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記新たな層が酸化物からなることが好ましい。

【0049】

上記酸化物からなる新たな層の積層を含む第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記新たな層が Al_2O_3 からなるものがある。

【0050】

このように、酸化物等を上記金属層上へスパッタリングなどによって積層することにより、例えばこの金属層を保護するといった働きをする上記新たな層の形成を兼ねて、上記金属層の酸化を行うことができる。

【0051】

上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記プラズマ酸化工程が、少なくともArおよび酸素のうちのいずれかを含む雰囲気中で行われる工程であることが好ましい。

【0052】

このプラズマ酸化工程が、例えば、スパッタリング等により上記金属層上への酸化物からなる新たな層の積層を行う工程である場合、そのスパッタリングがArを含み酸素を含まない雰囲気中で行われても、その金属層はプラズマ酸化される。

【0053】

また、上記プラズマ酸化工程が、上記新たな層の積層を伴わない工程である場合には、酸素を含む雰囲気とすることでプラズマ酸化が行われる。

【0054】

また、Arと酸素を混合した雰囲気であると、その混合比を変えるなどして、

上記酸化層の厚さを制御できる。

【 0 0 5 5 】

また、上記プラズマ酸化工程が、酸化物の積層と同時に行われる工程である場合にも、酸素を含む雰囲気中で行われる方が、この第1の磁気抵抗効果膜製造方法によって製造された磁気抵抗効果膜の上記結合磁界 H_{in} は低減される傾向にある。

【 0 0 5 6 】

上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記金属層積層工程では、上記金属層を10 Å以上の厚みで形成することが好ましい。

【 0 0 5 7 】

このように金属層が10 Å以上の厚みで形成されて製造された磁気抵抗効果膜では、後に実施例に示すように、結合磁界 H_{in} の低減が有効に行われる。

【 0 0 5 8 】

また、上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記プラズマ酸化工程では、上記自由磁性材料層が、上記金属層側から厚み方向に5 Å以上の深さまで酸化されることが好ましい。

【 0 0 5 9 】

このように上記自由磁性材料層が5 Å以上の深さまで酸化されることにより、後に実施形態で述べるように、上記結合磁界 H_{in} が小さく、また、上記自由磁性材料層の、酸化された部分と酸化されずに残った部分との界面で伝導電子の鏡面反射が良好に行われる。

【 0 0 6 0 】

また、上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜製造方法は、上記自由磁性材料層の全厚みのうちの、上記プラズマ酸化工程で酸化されなかった部分の厚みが30 Å以下であることが好ましい。

【 0 0 6 1 】

上述したように、自由磁性層の厚み、すなわち上記自由磁性材料層の全厚みのうちの酸化されなかった部分の厚みが30 Å以下である磁気抵抗効果膜では、その自由磁性材料層の、酸化された部分と酸化されずに残った部分との界面で伝導

電子の鏡面反射が抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の増大に大きく寄与する。

【0062】

上記目的を達成する本発明の磁気抵抗効果膜製造方法のうちの第2の磁気抵抗効果膜製造方法は、

方向が固定された磁化を有する固定磁性層と、その固定磁性層上に形成された非磁性の中間層と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有する自由磁性層とを含む多層膜である、その固定磁性層の磁化の方向とその自由磁性層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜を製造する磁気抵抗効果膜製造方法であって、

上記中間層上に上記自由磁性層を構成する材料からなる自由磁性材料層を積層する自由磁性材料層積層工程と、

上記自由磁性材料層積層工程で積層された自由磁性材料層上に所定の酸化制御層を積層する酸化制御層積層工程と、

上記酸化制御層積層工程で積層された酸化制御層をプラズマ状態の酸素にさらすことによって、その酸化制御層を通して上記自由磁性材料層がその酸化制御層側から厚み方向に所定の深さまで酸化するプラズマ酸化工程とを有することを特徴とする。

【0063】

この酸化制御層は、例えば、上記本発明の第1の磁気抵抗効果膜製造方法においては、金属層積層工程で積層される金属層に相当するものであるが、これに限られるものではなく、プラズマ状態の酸素にさらすことによって、その酸化制御層を通して、上記自由磁性材料層がその酸化制御層側から厚み方向に所定の深さまで酸化するものであればよい。この第2の磁気抵抗効果膜製造方法では、このような酸化制御層によって、上記自由磁性材料層が酸化される厚さが制御されるため、小さな結合磁界 H_{in} を持つように制御された磁気抵抗効果膜が製造される。

【0064】

【発明の実施形態】

以下、本発明の実施形態について説明する。

【 0 0 6 5 】

図 1 は、本実施形態のハードディスク装置の概略構成図である。

【 0 0 6 6 】

同図に示すハードディスク装置（HDD）100は、本発明の情報再生装置に相当するものである。同図に示すHDD100のハウジング101には、回転軸102、回転軸102に装着される磁気ディスク103、磁気ディスク103の表面に近接して対向する浮上ヘッドスライダ104、アーム軸105、浮上ヘッドスライダ104を先端に固着してアーム軸105を中心に磁気ディスク103上を水平移動するキャリッジアーム106、およびキャリッジアーム106の水平移動を駆動するアクチュエータ107が収容される。

【 0 0 6 7 】

このHDD100では、磁気ディスク103へ情報の記録、および磁気ディスク103に記録された情報の再生が行われる。これらの情報の記録および再生にあたっては、まず、磁気回路で構成されたアクチュエータ107によってキャリッジアーム106が駆動され、浮上ヘッドスライダ104が、回転する磁気ディスク103上の所望のトラックに位置決めされる。浮上ヘッドスライダ104の先端には、図1には図示しない本実施形態の磁気ヘッドが設置されている。この磁気ヘッドは、本発明の磁気抵抗効果型ヘッドに相当するものである。この磁気ヘッドは、磁気ディスク103の回転によって、磁気ディスク103の各トラックに並ぶ各1ビット領域に順次近接する。情報の記録時には、このように磁気ディスク103に近接した磁気ヘッドに電気的な記録信号が入力され、この磁気ヘッドにより、その記録信号に応じてそれらの各1ビット領域に磁界が印加されて、その記録信号に担持された情報がそれらの各1ビット領域の磁化の方向の形で記録される。また、情報の再生時には、それらの各1ビット領域の磁化の方向の形で記録された情報が、磁気ヘッドによって、それらの磁化それぞれから発生する磁界に応じて生成される電気的な再生信号として取り出される。ハウジング101の内部空間は、図示しないカバーによって閉鎖される。

【 0 0 6 8 】

次に、本実施形態の磁気ヘッドについて説明する。

【0069】

図2は、本実施形態の磁気ヘッドの要部断面図である。

【0070】

本実施形態の磁気ヘッド30は、磁気ディスク103に情報を記録する記録部と情報を再生する再生部とからなる複合型の磁気ヘッドであり、同図には再生部のみが示される。同図は、この磁気ヘッドの再生部を、図1に示す磁気ディスク103の面に平行な面で切断した断面図である。

【0071】

磁気ヘッド30は、非磁性の基板21、この非磁性の基板21上に形成された下部シールド層22、この下部シールド層22上に形成された下部絶縁層23、この下部絶縁層23上に形成された磁気抵抗効果膜10、上記下部絶縁層23上に、この磁気抵抗効果膜10を両側から挟むように形成された左右一对の磁区制御層24、この左右一对の磁区制御層24上に形成された左右一对の電極25、この左右一对の電極25と上記磁気抵抗効果膜10との上に形成された上部絶縁層26、およびこの上部絶縁層26上に形成された上部シールド層27を有する。この上部シールド層27上には、上記記録ヘッドが形成されている。

【0072】

基板21は、例えば、アルミナチタンカーバイド ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$) からなる基板上にSi膜あるいは SiO_2 膜が形成されたものである。

【0073】

下部シールド層22および上部シールド層27は、それぞれ、例えば、FeN等の軟磁性材料からなる厚さ1.6 μm の層であり、上記磁気抵抗効果膜10に不必要な外部磁界が印加されないようその磁気抵抗効果膜10を磁気シールドするものである。

【0074】

下部絶縁層23および上部絶縁層26は、それぞれ、例えば、厚さ50 nmのアルミナ (Al_2O_3) 等の絶縁材料からなる層であり、上記磁気抵抗効果膜10、上記磁区制御層24、および上記一对の電極25からの電流のリークを防ぐものである。

【 0 0 7 5 】

磁区制御層 2 4 は、例えば、C o - P t 合金、C o - C r - P t 合金等の硬磁性を示す材料からなる層であり、上記磁気抵抗効果膜 1 0 に静磁界および交換相互作用などによるバイアス磁界を印加するものである。ここでは、この磁区制御層 2 4 は、磁気抵抗効果膜 1 0 と同じ高さまで積層されている。

【 0 0 7 6 】

電極 2 5 は、例えば、T a / (T i - W) / T a という、2 つの T a 層とこれらの T a の間に挟まれた T i - W 合金との多層膜などの導電性材料からなるものであり、上記磁区制御層 2 4 を介して上記磁気抵抗効果膜 1 0 にセンス電流を印加するものである。この一对の電極 2 5 から再生信号が取り出される。

【 0 0 7 7 】

磁気抵抗効果膜 1 0 は、この磁気ヘッド 3 0 の情報再生の機能を担う部分である。すなわち、磁気抵抗効果膜 1 0 は、上記磁気ディスク 1 0 3 の各 1 ビット領域の磁化から発生する磁界に応じて抵抗が変化するものであり、上述したように磁気抵抗効果膜 1 0 には上記電極 2 5 によりセンス電流が印加されているため、上記抵抗の変化により、上記各 1 ビット領域の磁化の方向によって担持された情報が電氣的な再生信号として取り出される。

【 0 0 7 8 】

本発明の特色は、この磁気抵抗効果膜 1 0 の構造にある。次に、この磁気抵抗効果膜 1 0 の構造について説明する。

【 0 0 7 9 】

図 3 は、本実施形態の磁気抵抗効果膜の一例の断面図である。

【 0 0 8 0 】

同図に示す磁気抵抗効果膜 1 0 は、スピナルブタイプの磁気抵抗効果膜であり、図 2、図 3 に示す下部絶縁層 2 3 上に形成された下地層 1、この下地層 1 上に形成された反強磁性層 2、この反強磁性層 2 上に形成されたピン層 3、このピン層 3 上に形成された中間層 4、この中間層 4 上に形成されたフリー層 5、このフリー層 5 上に形成された酸化層 6、この酸化層 6 上に形成された銅酸化物層 7、およびこの銅酸化物層 7 上に形成された保護層 8 によって構成されている。

【0081】

下地層1は、例えば、Taからなる厚さ50Åの第1の下地層1__1上に、Ni-Fe合金からなる厚さ16Åの第2の下地層1__2が形成されたものである。この第2の下地層1__2は、Taからなる第1の下地層1__1上に形成されたことにより、fcc構造を有し、(111)方向に配向している。

【0082】

反強磁性層2は、例えば、Pd-Pt-Mn合金等の反強磁性材料からなる、厚さ150Åの層である。この反強磁性層2は、上記ピン層3に交換結合に伴う交換バイアス磁界を印加する。

【0083】

ピン層3は、ここでは、軟磁性を示す第1の軟磁性層3__1および第2の軟磁性層3__3と、これらの軟磁性層に膜厚方向に挟まれてなる、それらの軟磁性層の磁化を互いに逆向きに結合するピン結合層3__2とからなる。

【0084】

第1の軟磁性層3__1は、例えば、Co-Fe-B合金からなる厚さ15Åの層であり、第2の軟磁性層3__3は、例えば、Co-Fe-B合金からなる厚さ25Åの層である。また、ピン結合層3__2は、例えば、Ruからなる厚さ7.5Åの層である。

【0085】

ピン層3の第1の軟磁性層3__1は、磁化が、上記反強磁性層2によって印加された交換バイアス磁界によって、同図の紙面垂直方向に、すなわち、図2に示される一対の電極25を互いに結ぶ、磁気抵抗効果膜の長手方向とは垂直であって、かつピン層等の各層に平行な、磁気抵抗効果膜の高さ方向に固定される。

【0086】

一方、ピン層3の第2の軟磁性層3__3は、磁化が、上記ピン結合層3__2によって、上記第1の軟磁性層3__1の磁化とは逆方向に向くように固定される。このように、第1の軟磁性層3__1の磁化と第2の軟磁性層3の磁化とが、互いに逆方向に向いて固定されるため、ピン層3全体では磁化の大きさが小さい。この磁化の小ささのため、ピン層3の磁化は、外部からの磁界によって影響を受け

にくく、磁化が安定してピン止めされ、また、磁気ディスク103からの信号磁界 H_{sig} を乱す反磁界が小さく抑えられる。

【0087】

中間層4は、例えば、Cu等の非磁性の金属からなる厚さ22Åの層であり、上記ピン層3とフリー層5とを隔てるスペーサとなっている。

【0088】

フリー層5は、例えば、Co-Fe-B合金等の軟磁性材料からなる厚さ15Åの層である。このCo-Fe-B合金は、中間層4を構成するCuと相互拡散しにくいため、中間層4上に形成されるフリー層5の材料として好ましい。

【0089】

このフリー層5は、このように軟磁性材料からなり、磁化がピン止めされていない。このため、その磁化は、磁気ディスク103の各1ビット領域の磁化からの磁界に応じてその層の面内で回転する。第1の磁気抵抗効果膜10-1のシート抵抗は、いわゆる巨大磁気抵抗効果により、このフリー層5の磁化と上記ピン層3の固定された磁化とがなす角度に応じて大きく変化する。例えば、この抵抗は、これらの磁化が同方向を向く場合に最小値をとり、これらの磁化が互いに逆方向を向く場合に最大値をとる。この最大値と最小値との差が、上記抵抗変化 $\Delta\rho/t$ であり、この抵抗変化 $\Delta\rho/t$ によって、上述したセンス電流を通して再生信号が出力される。

【0090】

一般に、磁気抵抗効果膜中の伝導電子の、スピンの依存しない通常の散乱による平均自由行程はおよそ60Åであり、フリー層5の厚みが30Å以上の場合には、伝導電子がフリー層5と上記銅酸化物層7などとの界面で鏡面反射する前に散乱してしまいやすいため、鏡面反射効果が有効に生じない。これに対し、フリー層5の厚みが30Å以下である磁気抵抗効果膜10では、磁気抵抗効果が有効に生ずる。このため、フリー層5は、30Å以下の厚みを有するものであることが好ましい。

【0091】

また、フリー層5は、上記磁区制御層24によって印加されたバイアス磁界に

よって、単磁区化されている。このため、このフリー層5を含む磁気ヘッド30では、磁壁の移動に伴って再生信号に生ずるバルクハウゼンノイズの発生が抑制されている。

【0092】

酸化層6は、上記フリー層5を構成する材料からなる層が酸化されてなるものであり、例えば、厚さ20ÅのCo-Fe-B合金からなる層が酸化された層となっている。

【0093】

銅酸化物層7は、銅元素を含む酸化物からなる層であり、例えば、 $\text{Cu}_{1-x}\text{O}_x$ ($0 < x < 1$) からなる厚さ15Åの層である。

【0094】

保護層8は、耐蝕性が高く上記銅酸化物層7を物理的および化学的に保護する層であり、ここでは、厚さ30Åの Al_2O_3 からなる層である。この保護層は、上記銅酸化物層7へのさらなる酸素の入り込みを防ぐため酸化物からなるものであることが好ましい。また、上記 Al_2O_3 は、耐蝕性が高く、酸素との結びつきが強いため、この保護層8の材料として好ましい。

【0095】

なお、以上に述べた各層は、本文中に例示した厚さを有し、本文中に例示した材料からなることが好ましいが、必ずしもその厚さに限定されるものではなく、その材料に限定されるものではない。

【0096】

この本実施形態の磁気抵抗効果膜10を構成する各層のうちの、上記酸化層6および上記銅酸化物層7が、本実施形態に特徴的な層である。なお、この磁気抵抗効果膜10とは異なり、これらの酸化層6および銅酸化物層7のうちの酸化層6を持たない新たな本実施形態の磁気抵抗効果膜10'も、後述するように、磁気抵抗効果膜10と同様な作用効果を奏するものであり、次に、この磁気抵抗効果膜10'の構成について述べる。そして、これらの磁気抵抗効果膜10、10'と比較するために、従来の磁気抵抗効果膜について図5とともに説明した後、これらの酸化層6および銅酸化物層7の役割について説明する。

【 0 0 9 7 】

図 4 は、本実施形態の磁気抵抗効果膜の一例の断面図である。

【 0 0 9 8 】

同図に示す磁気抵抗効果膜 1 0' は、図 3 に示す磁気抵抗効果膜 1 0 とは、上記酸化層 6 が存在せず、上記フリー層 5 と同じ材料からなるフリー層 5' 上に直接、銅の酸化物からなる上記銅酸化物層 7 が形成されている点において異なる。ここでは、フリー層 5' の厚さは、上記本実施形態の磁気抵抗効果膜 1 0 におけるフリー層 5 の厚さと酸化層 6 の厚さの和と同じ 3 5 Å になっている。なお、この磁気抵抗効果膜 1 0' を構成する各層は、上記磁気抵抗効果膜 1 0 を構成する同名の各層と同じ役割を果たし、同じ作用効果を奏する。

【 0 0 9 9 】

図 5 は、従来の磁気抵抗効果膜の断面図である。

【 0 1 0 0 】

同図に示す従来の磁気抵抗効果膜 2 0 は、スピバルブタイプの磁気抵抗効果膜であり、図 4 に示す本実施形態の磁気抵抗効果膜 1 0' とは、上記フリー層 5' と同じ材料からなるフリー層 1 5 上に直接、Ta からなる保護層 1 8 が形成されている点において異なる。ここでは、フリー層 1 5 の厚さは、上記磁気抵抗効果膜 1 0' におけるフリー層 5' と同じ 3 5 Å となっている。上記保護層 1 8 の厚さは 5 0 Å である。

【 0 1 0 1 】

さて、従来の磁気抵抗効果膜 2 0 および本実施形態の磁気抵抗効果膜 1 0, 1 0' を含む一般の磁気抵抗効果膜は、中間層 4 に流れる磁気抵抗効果に寄与しない余分なシャント電流を低減させて抵抗変化 $\Delta \rho / t$ を高めるために、上述したように、中間層 4 を薄層化することが望まれている。しかし、従来の磁気抵抗効果膜 2 0 では、中間層 4 の厚みを低減すると、結合磁界 H_{in} が増大し、この結合磁界 H_{in} によって、フリー層の磁化とピン層の磁化とがなす角度に不必要なずれが生ずる。

【 0 1 0 2 】

一般に、磁気抵抗効果膜の抵抗値は、磁気ディスクからの信号磁界 H_{sig} の変

化に対して線形に変化することが望ましく、このような線形の変化を実現するためには、磁気抵抗効果膜に信号磁界 H_{sig} が印加されない状態でピン層の磁化方向とフリー層の磁化方向とが互いに 90° の角度をなすことが理想的である。しかし、従来の磁気抵抗効果膜20では、上記結合磁界 H_{in} が大きいためこの角度が 90° からずれた状態となりやすく、このようにこの角度が 90° からずれると、この磁気抵抗効果膜20を用いた磁気抵抗効果型ヘッドの出力電圧は信号磁界 H_{sig} の入力に対して線形応答せず、この出力電圧の再生波形が歪むなどの障害が発生しやすい。

【0103】

これに対して、本実施形態の磁気抵抗効果膜10'は、上記フリー層5'上に銅酸化物層7が形成されており、この銅酸化物層7が、フリー層5'の磁化とピン層3の磁化との間の結合に影響している。このため、本実施形態の磁気抵抗効果膜10'では、後に実施例に示すように、結合磁界 H_{in} が小さく、中間層4の厚みの減少に伴う結合磁界 H_{in} の増大が抑制されている。

【0104】

また、本実施形態の磁気抵抗効果膜10'は、銅酸化物層7の存在により、フリー層5'と銅酸化物層7との間の界面で鏡面反射が生じ、後に実施例に示すように、大きな抵抗変化 $\Delta\rho/t$ を生ずる。

【0105】

さらに、本実施形態の磁気抵抗効果膜10は、上記フリー層5上に上記酸化層6を挟んで銅酸化物層7が形成されており、この酸化層6および銅酸化物層7が、フリー層5の磁化とピン層3の磁化との間の結合に影響している。このため、本実施形態の磁気抵抗効果膜10では、後に実施例に示すように、結合磁界 H_{in} が小さく、中間層4の厚みの減少に伴う結合磁界 H_{in} の増大が抑制されている。

【0106】

また、本実施形態の磁気抵抗効果膜10は、酸化層6および銅酸化物層7の存在により、フリー層5と酸化層6との間の界面および酸化層6と銅酸化物層7との間の界面で鏡面反射が起こり、後に実施例に示すように、大きな抵抗変化 $\Delta\rho/t$ を生ずる。

【0107】

ここで、本実施形態の磁気抵抗効果膜10, 10'には、上記酸化層6や上記銅酸化物層7によって、上記ピン層3の磁化と上記フリー層5, 5'の磁化とを互いに逆方向に向かせる結合磁界 H_{in} 、すなわち負の値の結合磁界 H_{in} がそれらの磁化の間に働く場合がある。この場合には、酸化層6および銅酸化物層7が、本発明にいう結合層に相当する。

【0108】

従来の磁気抵抗効果膜であっても、上記中間層4の厚みが十分に厚い場合には、結合磁界 H_{in} の値が負になることはある。しかし、従来、実用化されている磁気抵抗効果膜は、上記中間層の厚みが34 Å以下であり、このように中間層4の厚みが34 Å以下である場合には、磁気抵抗効果膜に正の値の結合磁界 H_{in} が働く。このような厚みの範囲では、中間層の厚みを低減させることにより、その結合磁界 H_{in} は増大してしまう。これに対し、本実施形態の磁気抵抗効果膜10, 10'は、中間層4の厚みが34 Å以下である場合にも結合磁界 H_{in} の値が負となるので、その中間層4の厚みを低減することにより結合磁界 H_{in} の値をゼロに近づけることができる。

【0109】

以上述べた本実施形態の磁気抵抗効果膜10, 10'が採用された磁気抵抗効果型ヘッド30は、大きな抵抗変化 $\Delta\rho/t$ を有し、余分な結合磁界 H_{in} の、中間層4の厚みの減少に伴う増大が抑制されており、場合によっては結合磁界 H_{in} の値をゼロに近づけることができるので、再生波形の歪みが抑制された高出力の磁気ヘッドとなっている。

【0110】

また、このように再生波形の歪みが抑制された高出力の磁気抵抗効果型ヘッド30が採用されたHDD100は、磁気記録媒体各点の磁化の方向を検出する感度が高く、磁気記録媒体に高密度に記録された情報の再生に適している。

【0111】

次に、これらの本実施形態の磁気抵抗効果膜10, 10'を製造する本実施形態の磁気抵抗効果膜製造方法について、図6とともに説明する。

【 0 1 1 2 】

図 6 は、本実施形態の磁気抵抗効果膜成膜装置を示す図である。

【 0 1 1 3 】

同図に示される磁気抵抗効果膜成膜装置 4 0 は、メインチャンバ 3 1 と絶縁体チャンバ 3 2 とバルブ 3 3 とを有し、それらのチャンバ内でスパッタリングにより磁気抵抗効果膜を成膜する装置である。ここでは、メインチャンバ 3 1 内には例えば A r ガスが導入されており、絶縁体チャンバ 3 2 には、ここでは、絶縁体チャンバ 3 2 には純粋な酸素ガスが導入されているものとする。この酸素ガス以外では、この絶縁体チャンバ 3 2 には、例えば、A r ガスあるいは A r ガスと酸素ガスとの混合ガスが導入される。これらのメインチャンバ 3 1 と絶縁体チャンバ 3 2 との間には、それらのチャンバを繋ぐ通路があり、その通路に開閉自在なバルブ 3 3 が備えられている。

【 0 1 1 4 】

以下に、この磁気抵抗効果膜 1 0 , 1 0 ' の成膜の過程について説明する。

【 0 1 1 5 】

まず、メインチャンバ 3 1 には図示しない基板が用意される。磁気抵抗効果膜を実験的に成膜する場合には、この基板は、例えば、S i / S i O₂ 基板であり、また、上記磁気ヘッド 3 0 を構成する磁気抵抗効果膜を成膜する場合には、この基板は、上述した、非磁性の基板 2 1 / 下部シールド層 2 2 / 下部絶縁層 2 3 からなる多層膜である。

【 0 1 1 6 】

この図示しない基板上に、同図に示されるように、スパッタリングにより、A r ガス中で、まず、上記磁気抵抗効果膜 1 0 , 1 0 ' を構成する下地層 1、反強磁性層 2、ピン層 3、中間層 4 の順に、これらの各層の例示した材料を用いて例示した厚さで D C マグネトロンスパッタリングにより連続的に積層してこれらの各層を成膜する。

【 0 1 1 7 】

次に、同じく D C マグネトロンスパッタリングによって、このように積層された中間層 4 上に、C o - F e - B 合金からなる厚さ 3 5 Å の、図 4 に示す磁気抵

抗効果膜のフリー層 5' と同等な層を成膜し、さらに、このフリー層 5' と同等な層の上に、Cu からなる厚み 15 Å の Cu 層 7' を成膜する。このフリー層 5' と同等な層は、このまま酸化されなければフリー層 5' となる層であり、本発明にいう自由磁性材料層に相当する。以下、このフリー層 5' と同等な層を単にフリー層 5' と称する。また、Cu 層 7' は本発明にいう金属層および酸化制御層に相当する。

【 0 1 1 8 】

このように基板上に Cu 層 7' まで成膜された多層膜を、上記バルブ 33 を開けてメインチャンバ 31 から絶縁体チャンバ 32 へ移し、再びバルブ 33 を閉める。そして、絶縁体チャンバ 32 内で、この多層膜の Cu 層 7' 上に RF マグネトロンスパッタリングにより Al_2O_3 の積層を 30 Å 行うことにより、上記磁気抵抗効果膜 10, 10' の保護層 8 が成膜される。

【 0 1 1 9 】

この Al_2O_3 の積層の過程において、Cu 層 7' はプラズマ状態の酸素にさらされてプラズマ酸化され、酸素が上記 Cu 層 7' に入り込んで、この Cu 層 7' が酸化銅からなる上記銅酸化物層 7 に変わる。このように銅酸化物層 7 まで形成されてなる多層膜を所定の素子の形状にパターニングすることにより、図 4 に示す磁気抵抗効果膜 10' が形成される。

【 0 1 2 0 】

また、図 6 に示すように、この Al_2O_3 の積層の過程において、Cu 層 7' が強く酸化されることで、Cu 層 7' 全体が酸化されて銅酸化物層 7 に変わるのに加えてフリー層 5' が厚み方向に一部だけ層状にプラズマ酸化される。すなわち、酸素が上記 Cu 層 7' を通り、さらに、酸素が上記フリー層 5' の一部に入り込む。そして、このフリー層 5' の上記 Cu 層 7' に接する界面側から所定の厚みまで酸化されて上記酸化層 6 が形成される。フリー層 5' のうちの酸化されずに残った部分が上記フリー層 5 となる。このように酸化層 6 および銅酸化物層 7 が形成された多層膜を所定の素子の形状にパターニングすることにより、図 3 に示す磁気抵抗効果膜 10 が形成される。

【 0 1 2 1 】

従来、フリー層上に自然酸化によって酸化膜が形成されることがあるけれども、この自然酸化によっては、所望の厚さに制御された酸化膜を形成することが困難である。また、フリー層上に、直接、プラズマ酸化を行うことにより酸化膜を形成することはできるけれども、このような直接のプラズマ酸化では、強く酸化されすぎてやはり所望の厚さに制御された酸化膜を形成することは困難であり、また、酸化膜の界面の状態が不良となっている可能性がある。

【0122】

これに対して、この磁気抵抗効果膜成膜装置40による磁気抵抗効果膜の成膜では、フリー層5'上にCu層7'を形成し、プラズマ酸化工程によってこのCu層7'を通してフリー層5'の一部を酸化するものであるため、フリー層5'の一部が酸化されてなる酸化層6を、所望の厚さになるように制御しながら形成することができる。そして、このように厚さの制御をしながら酸化層6を形成することにより、上記結合磁界 H_{in} を制御することができる。また、このような酸化では、酸化が穏やかに行われるため、酸化層6とフリー層5との間の界面が良好であると考えられる。

【0123】

Cu層7'は、ここで述べたようにフリー層5'の酸化の程度を制御する働きを有するものであるため、ある程度以上の厚みが必要である。言い換えると、この酸化の程度が適切に制御されて、この磁気抵抗効果膜10, 10'において結合磁界 H_{in} の低減が有効に行われるためには、このCu層7'が酸化されてなる銅酸化物層7はある程度以上の厚みを有するものとなることが必要である。後に示す実施例からわかるように、この銅酸化物層7は、10 Å以上の厚みを有するものであることが好ましい。このため、同じく、Cu層7'も10 Å以上の厚みを有するものであることが好ましい。

【0124】

また、上記フリー層5'の酸化は5 Å以上の深さまで行われ、酸化層6が5 Å以上の厚みを有するものであることが好ましい。通常、フリー層5'と銅酸化物層7との間の界面、すなわち酸化層6と銅酸化物層7との界面のように、積層によって形成された2層の界面は、通常5 Å程度の粗さを有するが、酸化層6と酸

化されずに残ったフリー層5との間の界面のように、酸化されることにより形成された界面は平滑な界面となると考えられる。

【0125】

上記磁気抵抗効果膜10は、酸化層6の厚みが5Å以上であることにより、酸化層6とフリー層5との間の界面のほぼ全体が平滑になり、上記結合磁界 H_{in} が減少し、この界面で伝導電子の鏡面反射が良好に行われると考えられる。後に実施例に示すように、実際、酸化層6がこのように5Å以上の厚みを有するものである場合に、結合磁界 H_{in} の増大の抑制が有効に行われ、また、抵抗変化 $\Delta\rho/t$ がさらに大きな値を示す。

【0126】

なお、これまで述べた磁気抵抗効果膜製造方法では、絶縁体チャンバ32中を純粋な酸素雰囲気としたが、絶縁体チャンバ32中で Al_2O_3 等の酸化物を積層する場合には、Arガス雰囲気中であってもよく、 Al_2O_3 のスパッタによって生ずる酸素の一部が上記Cu層7'や上記フリー層5'をプラズマ酸化する。

【0127】

また、絶縁体チャンバ32中は酸素とArの混合ガス雰囲気中であってもよく、この場合、その混合比を変えるなどして、上記Cu層7'の酸化の度合い、さらには、上記酸化層6の厚さなどを制御できる。

【0128】

上記プラズマ酸化が、絶縁体チャンバ32中で Al_2O_3 等の酸化物の積層と同時に行われる場合にも、この絶縁体チャンバ32中が酸素を含む雰囲気中である方が、純粋なArガス雰囲気中であるよりも、最終的に形成された磁気抵抗効果膜の結合磁界 H_{in} が低減される傾向にある。

【0129】

また、 Al_2O_3 等の酸化物の積層が行われない場合にも、絶縁体チャンバ32中を酸素を含む雰囲気とすることで、Cu層7'およびフリー層5'のプラズマ酸化が行われる。

【0130】

なお、Cu層7'やフリー層5'の酸化の状態は、スパッタリングの際の、投

入電力の他、ガス圧力やガスの混合比、保護層 8 の材料や厚み、銅酸化物層 7 の材料および厚み等の条件によって左右される。酸化層 6 の厚さもこれらの条件を調整することによって変えられる。

【0 1 3 1】

また、上記フリー層 5' 上には、Cu 層 7' の代わりに Cu 以外の金属からなる層が積層されてもよい。Cu 以外の金属からなる層がフリー層 5' 上に積層された場合にも、その金属からなる層によってフリー層 5' の酸化が適切に制御され则认为られる。但し、実施例に示すようにフリー層 5' 上に Cu からなる層が形成された場合に上記結合磁界 H_{in} を小さく抑える結果が実際に得られており、上記フリー層 5' 上には、Cu あるいは Cu を含む合金からなる層が形成されることが好ましい。

【0 1 3 2】

なお、この保護層 8 の成膜は、金属ターゲットを、Ar と酸素との混合ガス中で反応性スパッタリングを行うことにより行うこともできる。

【0 1 3 3】

また、成膜方法は、スパッタリングに限るものではなく、フリー層 5' 上に積層された金属からなる層の酸化を通じて、そのフリー層 5' の酸化が制御できる手段であればよい。

【0 1 3 4】

【実施例】

以下に、本発明の実施例について説明する。

【0 1 3 5】

<中間層の厚み依存性>

以下に、磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の測定結果と、結合磁界 H_{in} の、中間層の厚みに対する変化の測定の結果とについて説明する。

【0 1 3 6】

この測定は、図 3 に示す本実施形態の磁気抵抗効果膜 10 の 7 つの試料に対して行った。ここで、これらの 7 つの試料それぞれは、Cu からなる 18 Å ~ 30 Å の間のそれぞれ異なる厚みの中間層 4 を有するものであり、これらの試料を構

成する、中間層 4 以外の各層は、いずれの試料に対しても、本実施形態の磁気抵抗効果膜 1 0 の例示した厚みを有し例示した材料からなる。

【 0 1 3 7 】

これらの試料は、図 6 に示す磁気抵抗効果膜成膜装置 4 0 によって、実施形態に説明する方法で成膜された。ここで、磁気抵抗効果膜を成膜する基板としては、 Si/SiO_2 基板を用い、スパッタリングに用いる各ターゲットはいずれも 5 cm 径のものを用いた。また、メインチャンバ 3 1 における、ターゲットに対する DC マグネトロンスパッタリングの投入電力を 5 0 W とし、絶縁体チャンバ 3 2 における、ターゲットに対する RF マグネトロンスパッタリングの投入電力を 1 5 0 W とした。また、メインチャンバ 3 1 内は、0. 7 Pa の Ar 雰囲気とし、絶縁体チャンバ 3 2 内は、0. 0 6 Pa の酸素雰囲気とした。

【 0 1 3 8 】

また、この測定は、比較のために、図 5 に示す従来の磁気抵抗効果膜 2 0 の 5 つの試料に対しても行った。ここで、これらの 5 つの試料それぞれは、Cu からなる 2 4 Å ~ 3 2 Å の間のそれぞれ異なる厚みの中間層 4 を有するものであり、これらの試料を構成する、中間層 4 以外の各層は、いずれの試料に対しても、従来の磁気抵抗効果膜 2 0 の例示した厚みを有し例示した材料からなる。

【 0 1 3 9 】

これらの 5 つの試料それぞれを構成する各層は、図 6 に示す磁気抵抗効果膜成膜装置 4 0 によって、上記 7 つの試料における本実施形態の磁気抵抗効果膜の成膜と同様に成膜した。但しこれらの 5 つの試料を構成する各層は、いずれも導電性の材料からなるので、上記磁気抵抗効果膜成膜装置 4 0 のうちの、メインチャンバ 3 1 内で全ての層を成膜した。

【 0 1 4 0 】

図 7 は、磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の、中間層の厚さ依存性を示すグラフである。

【 0 1 4 1 】

図 8 は、磁気抵抗効果膜の結合磁界 H_{in} の、中間層の厚さ依存性を示すグラフである。

【 0 1 4 2 】

図 7、図 8 の横軸は、いずれも磁気抵抗効果膜の Cu からなるスペーサである中間層 4 の厚さを表し、図 7 の縦軸は、磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ を表し、図 8 の縦軸は、磁気抵抗効果膜の結合磁界 H_{in} を表す。図 7、図 8 には、本実施形態の磁気抵抗効果膜 10 の 7 つの試料に対する測定結果が、同図中の黒丸によって示され、また、従来の磁気抵抗効果膜 20 の 5 つの試料に対する測定結果が、同図中の黒三角によって示される。これらの黒丸どうしは、ガイドのために実線によって繋がれており、黒三角どうしは、ガイドのために点線によって繋がれている。

【 0 1 4 3 】

図 7 の複数の黒三角で示されるように、従来の磁気抵抗効果膜 20 は、中間層 4 の厚みが 32 Å から 28 Å まで低減されると、抵抗変化 $\Delta \rho / t$ は増大した。しかし、この抵抗変化 $\Delta \rho / t$ は、厚み 28 Å で頭打ちとなり、厚み 28 Å から 24 Å まで低減されるとかえって減少した。また、この従来の磁気抵抗効果膜 20 は、中間層 4 の厚みが 24 Å ~ 32 Å の間で、抵抗変化 $\Delta \rho / t$ が 1.05 Ω ~ 1.25 Ω の間にあり、中間層 4 の厚みによる変化はあまりなかった。

【 0 1 4 4 】

これに対して、図 7 の複数の黒丸で示されるように、本実施形態の磁気抵抗効果膜 10 は、中間層 4 の厚みが 30 Å から 22 Å まで低減されると、抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の値は、1.4 Ω 以下から 1.9 Ω 以上まで単調増加し、中間層 4 の厚みが 24 Å から 20 Å の間で、その 1.9 Ω 以上の値が保たれた。

【 0 1 4 5 】

このように、フリー層 5 上に、酸化層 6 を挟んで銅酸化物層 7 が形成されたものである磁気抵抗効果膜 10 の試料は、中間層 4 のいずれの厚みに対しても従来の磁気抵抗効果膜 20 よりも大きな抵抗変化 $\Delta \rho / t$ を示した。この大きな抵抗変化 $\Delta \rho / t$ は、フリー層 5 と酸化層 6 との間の界面、および酸化層 6 と銅酸化物層 7 との間の界面における伝導電子の鏡面反射によるものと考えられる。

【 0 1 4 6 】

また、図 8 の複数の黒三角で示されるように、従来の磁気抵抗効果膜 20 は、

中間層 4 の厚みが 3 2 Å から 2 4 Å まで低減されると、結合磁界 H_{in} が、0. 5 k A / m から 5. 3 k A / m まで単調に増大した。これに対して図 8 の複数の黒丸で示されるように、本実施形態の磁気抵抗効果膜 1 0 は、中間層 4 の厚みが、3 0 Å から 2 2 Å の間で結合磁界 H_{in} は - 0. 5 k A / m から - 1. 5 k A / m の間に収まり負の値をとった。この磁気抵抗効果膜 1 0 の結合磁界 H_{in} は、中間層 4 の厚みが、2 2 Å から 1 8 Å まで低減されると単調に増大し、2 0 Å で正に転じ、1 8 Å では 6 k A / m を超える値となった。

【0 1 4 7】

このように、フリー層 5 上に、酸化層 6 を挟んで銅酸化物層 7 が形成されたものである本実施形態の磁気抵抗効果膜 1 0 の試料の一部では、負の結合磁界 H_{in} が実現した。また、この磁気抵抗効果膜 1 0 では、結合磁界 H_{in} の大きさを小さく保ったまま、従来の磁気抵抗効果膜 2 0 と比べて、中間層 4 の厚みをより小さな厚みまで減少させることができる。

【0 1 4 8】

<銅酸化物層の厚み依存性>

以下に、磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ 、保磁力 H_c 、および結合磁界 H_{in} の、銅酸化物層 7 の厚みに対する変化の測定結果について説明する。

【0 1 4 9】

これらの測定は、図 3 に示す本実施形態の磁気抵抗効果膜 1 0 の 6 つの試料を含む 8 つの試料に対して行った。これらの 8 つの試料は、図 6 に示す磁気抵抗効果膜成膜装置 4 0 によって、上記中間層の厚み依存の測定で用いた 7 つの試料を成膜する際の、各チャンバ内における、基板、ターゲットの径、投入電力、雰囲気等の条件と同じ条件で、実施形態に説明する方法により成膜された。詳しく述べると、これらの 8 つの試料は、いずれも、基板上にフリー層 5' まで形成し、そのフリー層 5' 上に Cu 層 7' を形成し、その Cu 層 7' 上に Al_2O_3 を積層することによりその Cu 層 7' をプラズマ酸化して銅酸化物層 7 を形成し、さらにフリー層 5' をその Cu 層 7' 側から酸化させて、酸化せずに残ったフリー層 5 上に酸化層 6 を形成したものである。但し、ここで、Cu 層 7' の厚みは、各試料ごとに 0 Å ~ 3 5 Å の間で異なっており、この Cu 層 7' の厚みが、上記銅酸

化物層 7 の厚みとなる。また、フリー層 5' の厚みは 35 Å であり、Cu 層 7' の厚みに応じて、フリー層 5' へ酸素が入り込む膜厚方向の深さが異なるため、Cu 層 7' の厚みに応じて酸化されずに残ったフリー層 5 および酸化されてなる酸化層 6 の厚みも異なる。このように、これらの試料を構成する、銅酸化物層 7、酸化層 6、およびフリー層 5 以外の各層は、試料によらずいずれも、本実施形態の磁気抵抗効果膜 10 の例示した厚みを有し例示した材料からなる。なお、これらの 8 つの試料のうち、銅酸化物層 7 の厚みが 0 Å であるもの、すなわち銅酸化物層 7 を有さない試料では、上記酸化層 6 の厚みは 20 Å であり、銅酸化物層 7 の厚みが 25 Å である試料では、上記酸化層 6 の厚みは 5 Å であった。また、銅酸化物層 7 の厚みが 35 Å である試料では、上記酸化層 6 の厚みは 0 Å、すなわち酸化層 6 を有さない、図 4 に示す磁気抵抗効果膜 10' のように、フリー層 5 上に直接、銅酸化物層 7 が形成されたものとなっていた。これらの酸化層 6 の厚みは、試料を削りながら XPS によって削られた面の組成を評価することによって行われた。

【0150】

図 9 は、磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の、銅酸化物層の厚さ依存性を示すグラフである。

【0151】

図 10 は、磁気抵抗効果膜の保磁力 H_c の、銅酸化物層の厚さ依存性を示すグラフである。

【0152】

図 11 は、磁気抵抗効果膜の結合磁界 H_{in} の、銅酸化物層の厚さ依存性を示すグラフである。

【0153】

図 9、図 10、図 11 の横軸は、いずれも、磁気抵抗効果膜の $Cu_{1-x}O_x$ からなる銅酸化物層 7 の厚さを表す。図 9 の縦軸は、磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ を表し、図 10 の縦軸は、磁気抵抗効果膜の抵抗変化保磁力 H_c を表し、図 11 の縦軸は、磁気抵抗効果膜の結合磁界 H_{in} を表す。これらの図には、上記 8 つの試料に対する測定結果が、同図中の黒丸によって示され、これらの黒丸どう

しは、ガイドのために実線によって繋がれている。

【0154】

まず、結合磁界 H_{in} の測定結果に着目する。

【0155】

図11に示すように、結合磁界 H_{in} は、銅酸化物層7の厚さが0 Åである場合に、2.9 kA/mと大きい、この銅酸化物層7の厚さが増大するにつれ単調に減少し、銅酸化物層7の厚さが10 Åで0.8 kA/m、15 Åで-1.2 kA/mにまで減少した。そして、銅酸化物層7の厚さが20 Å～35 Åでは、結合磁界 H_{in} は-0.5 kA/m～0.3 kA/mの範囲内におさまる小さな値となった。

【0156】

磁気抵抗効果膜の磁気ヘッドに対しては、通常、0.8 kA/m以下の結合磁界 H_{in} が要求されるため、以上の結合磁界 H_{in} の測定結果から、銅酸化物層7の厚みは、10 Å以上が好ましいとわかる。また、銅酸化物層7の厚みは、10 Å～35 Åの範囲にあればさらに好ましい。

【0157】

次に、抵抗変化 $\Delta\rho/t$ 、保磁力 H_c 、および結合磁界 H_{in} の測定結果を総合的に見る。

【0158】

これらの図9、図10、図11に示すように、銅酸化物層7の厚みが0 Åであり、酸化層6の厚みが20 Åである試料は、抵抗変化 $\Delta\rho/t$ は1.3 Ωと低く、結合磁界 H_{in} は2.9 kA/mと大きいため、この試料は、磁気抵抗効果膜としてあまり好ましいものではなかった。また、この場合には、試料の保磁力 H_c は3.5 kA/mとなっていた。

【0159】

試料の銅酸化物層7の厚みが0 Åから10 Åに増大した場合には、抵抗変化 $\Delta\rho/t$ は1.75 Ωまで上昇し、結合磁界 H_{in} は0.8 kA/mまで減少したため、磁気抵抗効果膜として好ましいものとなった。

【0160】

試料の銅酸化物層 7 の厚みが 1 5 Å に増大した場合には、抵抗変化 $\Delta \rho / t$ は 2 Ω と最高値をとり、結合磁界 H_{in} は - 1 . 2 k A / m まで減少して最低値をとり、さらに、保磁力 H_c が 1 . 2 k A / m まで減少したものとなっており、磁気抵抗効果膜として好ましい。

【 0 1 6 1 】

また、試料の銅酸化物層 7 の厚みが 1 5 Å から 3 5 Å まで増大した場合には、結合磁界 H_{in} が - 0 . 5 k A / m ~ 0 . 3 k A / m の範囲内におさまる良好な値を示したが、抵抗変化 $\Delta \rho / t$ は、2 . 0 Ω から 1 . 4 Ω まで減少した。このような抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の減少は、3 5 Å 付近での酸化層 6 の薄層化によるものと考えられる。

【 0 1 6 2 】

ここで、銅酸化物層 7 の厚みが 2 5 Å 以下であると、酸化層 6 の厚みは 5 Å 以上であり、酸化層 6 がこの 5 Å 以上の厚みを有する場合には、結合磁界 H_{in} は、さらに - 1 . 2 k A / m まで減少し、抵抗変化 $\Delta \rho / t$ が 1 . 7 k A / m 以上に増大し、保磁力 H_c が 2 . 2 k A / m 以下に減少するという好ましい性質を示した。このため、酸化層 6 の厚みは、5 Å 以上であることが好ましいとわかる。なお、さらに酸化層 6 の厚みを増大させると、すなわち銅酸化物層 7 の厚みを減少させると、それらの各特性は悪化するが、そのように悪化する原因は、酸化層 6 の厚み以外の、銅酸化物層 7 の厚みの減少などにあると考えられる。

【 0 1 6 3 】

試料の銅酸化物層 7 の厚みが 3 5 Å である場合は、酸化層 6 の厚みが 0 Å であるので、この試料は、本実施形態の磁気抵抗効果膜 1 0 ' の 1 つとなる。この、1 . 4 Ω という抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の値は、図 7 に示される結果から、この試料に対応する、中間層 4 の厚みが 2 2 Å となる従来の磁気抵抗効果膜 2 0 で予想される抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の値より大きく、また、この試料の、- 0 . 5 k A / m という結合磁界 H_{in} の値は、図 8 に示される中間層 4 の厚みが 2 2 Å となる結合磁界 H_{in} の値より低い。この結果から、磁気抵抗効果膜 1 0 ' は、従来の磁気抵抗効果膜 2 0 よりも大きな抵抗変化を示し、低い結合磁界 H_{in} を示すものであることがわかる。

【 0 1 6 4 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、中間層の厚みの低減に伴う結合磁界の増大が抑制された磁気抵抗効果膜、そのような磁気抵抗効果膜を備えた磁気抵抗効果型ヘッド、そのような磁気抵抗効果型ヘッドを備えた情報再生装置、およびそのような磁気抵抗効果膜を製造する磁気抵抗効果膜製造方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本実施形態のハードディスク装置の概略構成図である。

【図 2】

本実施形態の磁気ヘッドの要部斜視図である。

【図 3】

本実施形態の磁気抵抗効果膜の一例の断面図である。

【図 4】

本実施形態の磁気抵抗効果膜の一例の断面図である。

【図 5】

従来の磁気抵抗効果膜の断面図である。

【図 6】

本実施形態の磁気抵抗効果膜成膜装置を示す図である。

【図 7】

磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の、中間層の厚さ依存性を示すグラフである。

【図 8】

磁気抵抗効果膜の結合磁界 H_{in} の、中間層の厚さ依存性を示すグラフである。

【図 9】

磁気抵抗効果膜の抵抗変化 $\Delta \rho / t$ の、銅酸化物層の厚さ依存性を示すグラフである。

【図 10】

磁気抵抗効果膜の保磁力 H_c の、銅酸化物層の厚さ依存性を示すグラフである。

【図 1 1】

磁気抵抗効果膜の結合磁界 H_{in} の、銅酸化物層の厚さ依存性を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 下地層
 - 1__1 第1の下地層
 - 1__2 第2の下地層
 - 2 反強磁性層
 - 3 ピン層
 - 3__1 第1の軟磁性層
 - 3__2 ピン結合層
 - 3__3 第2の軟磁性層
 - 4 中間層
 - 5, 5', 15 フリー層
 - 6 酸化層
 - 7 銅酸化物層
 - 8, 18 保護層
 - 10 磁気抵抗効果膜
 - 21 基板
 - 22 下部シールド層
 - 23 下部絶縁層
 - 24 磁区制御層
 - 25 電極
 - 26 上部絶縁層
 - 27 上部シールド層
-
- 30 磁気ヘッド
 - 31 メインチャンバ
 - 32 絶縁体チャンバ

3 3 バルブ

4 0 磁気抵抗効果膜成膜装置

1 0 0 HDD

1 0 1 ハウジング

1 0 2 回転軸

1 0 3 磁気ディスク

1 0 4 浮上ヘッドスライダ

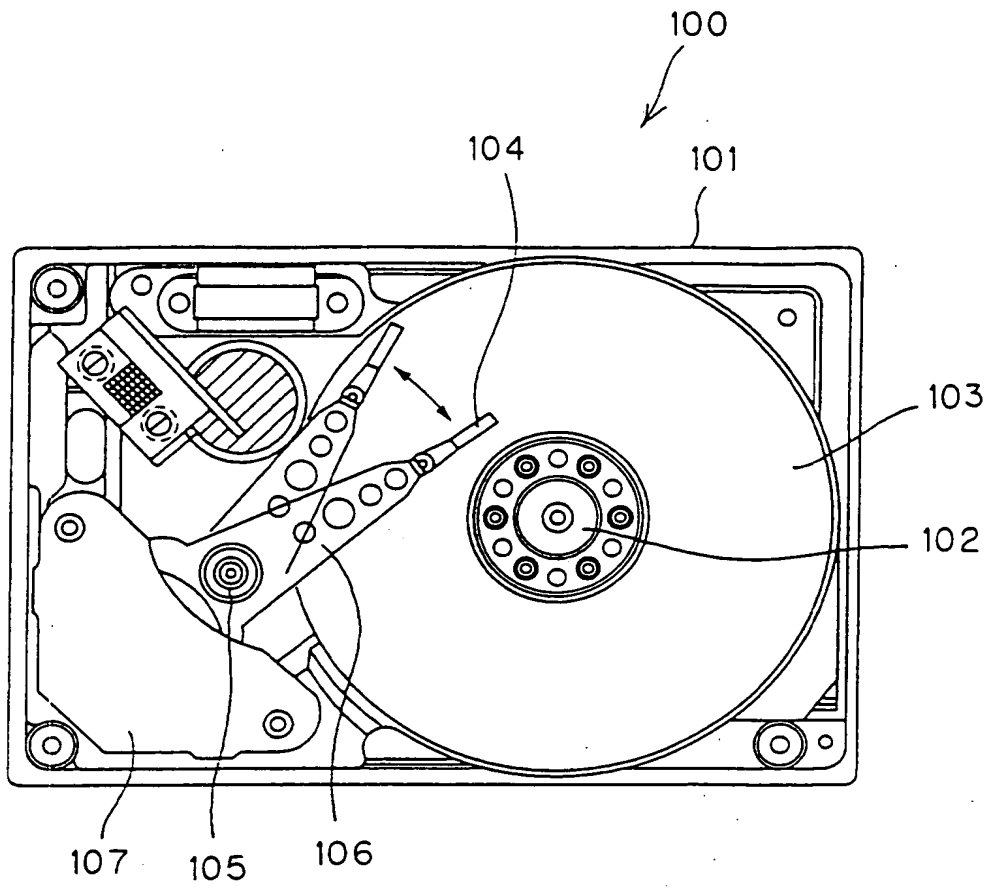
1 0 5 アーム軸

1 0 6 キャリッジアーム

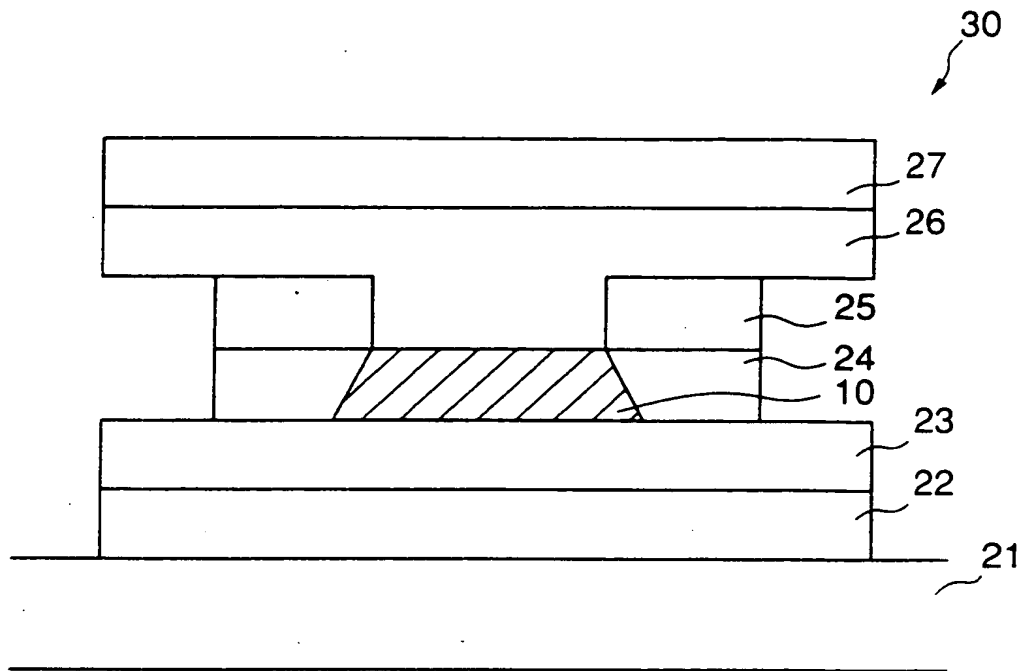
1 0 7 アクチュエータ

【書類名】 図面

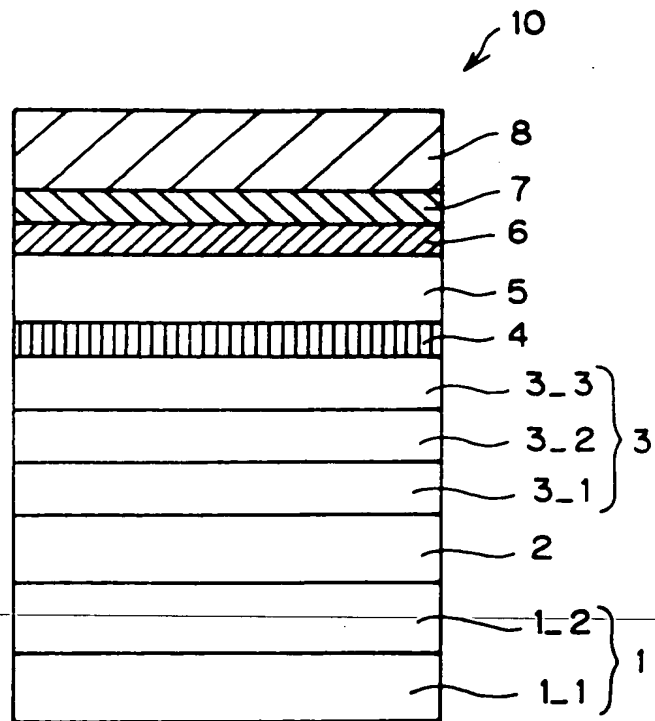
【図 1】



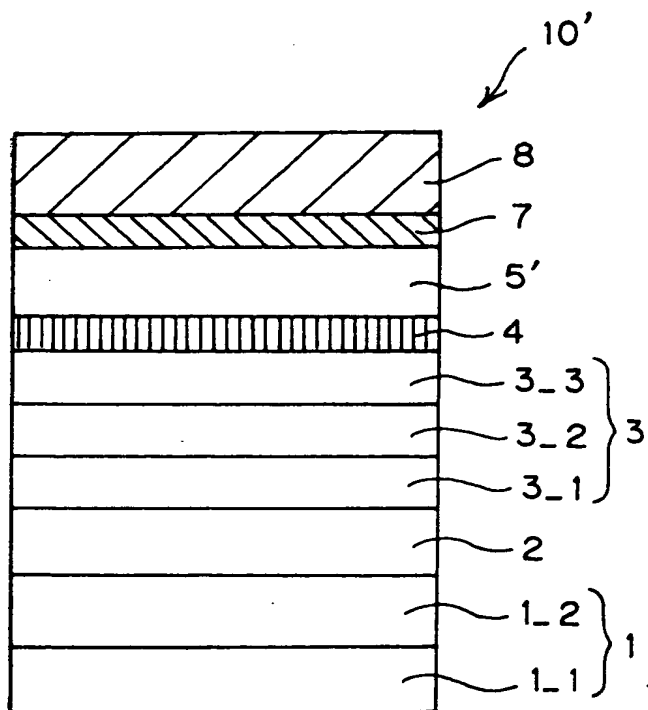
【図 2】



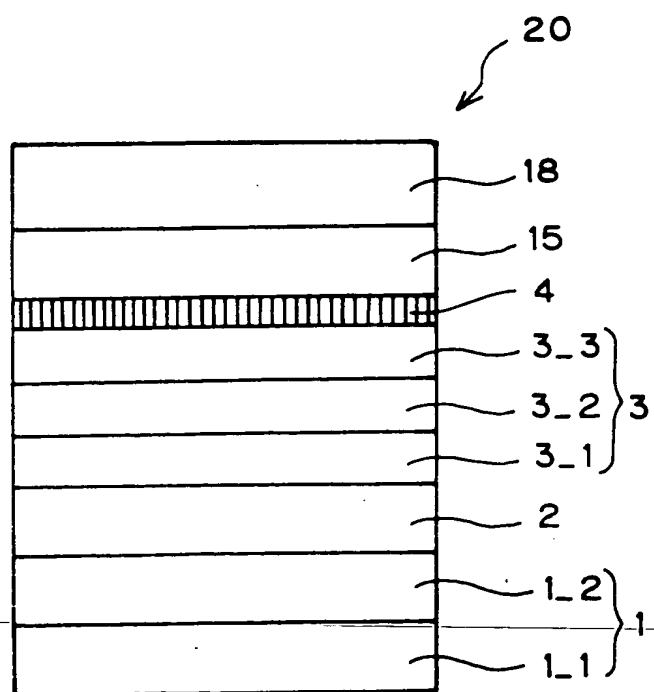
【図 3】



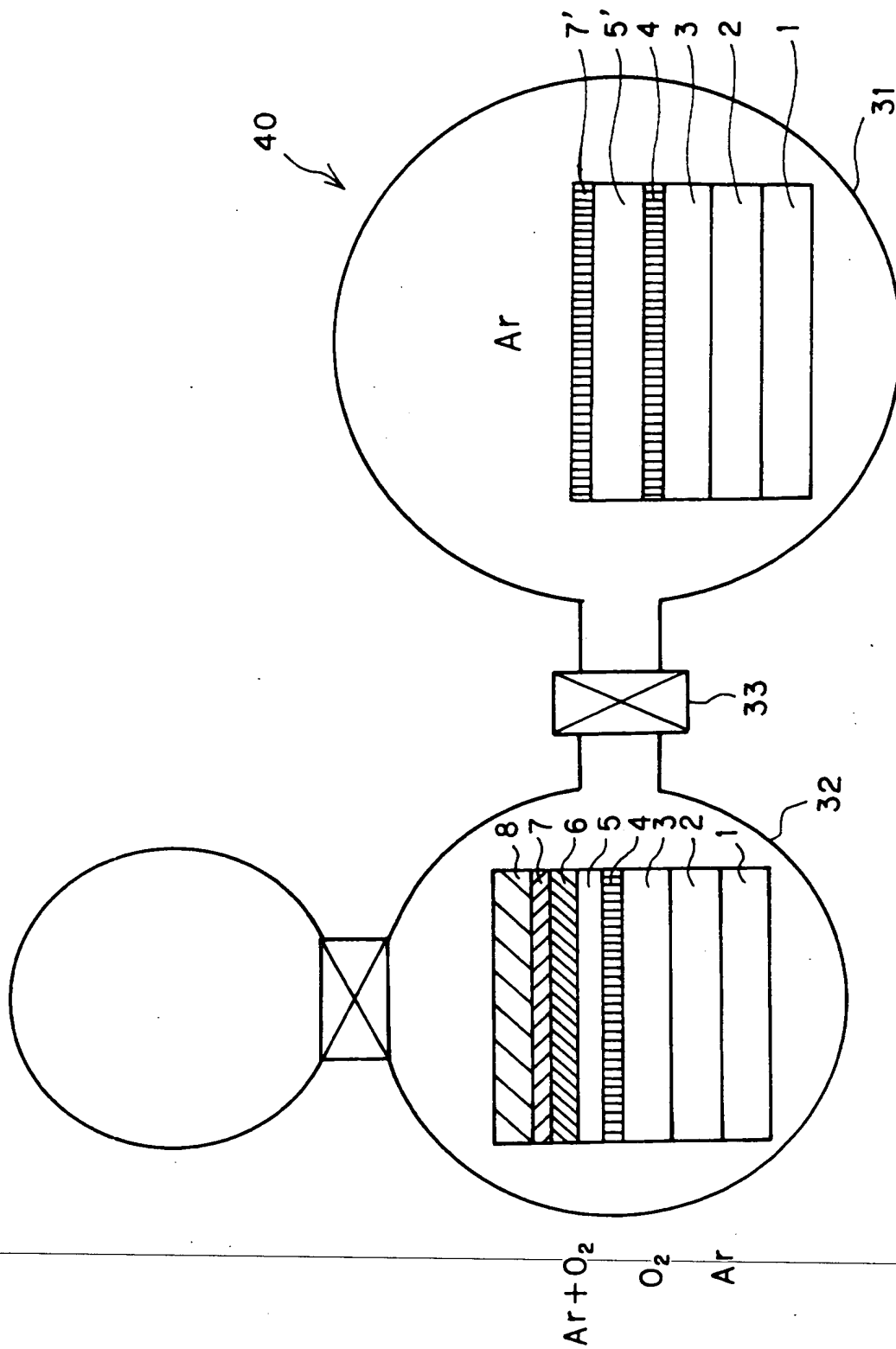
【図 4】



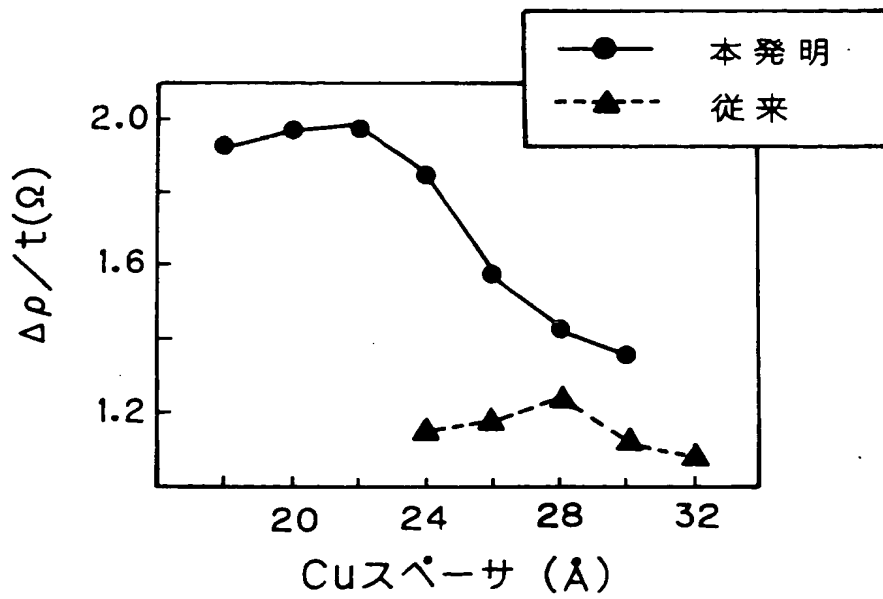
【図 5】



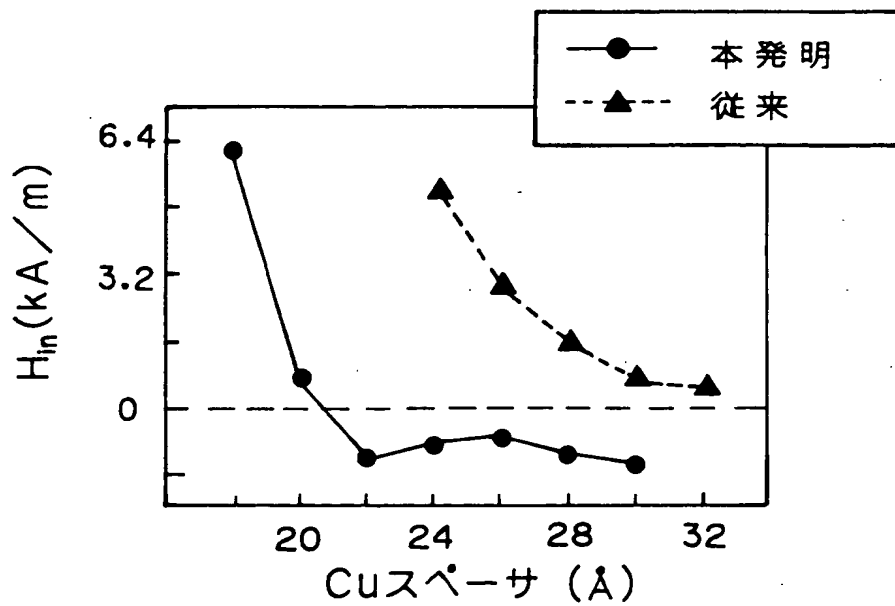
【図 6】



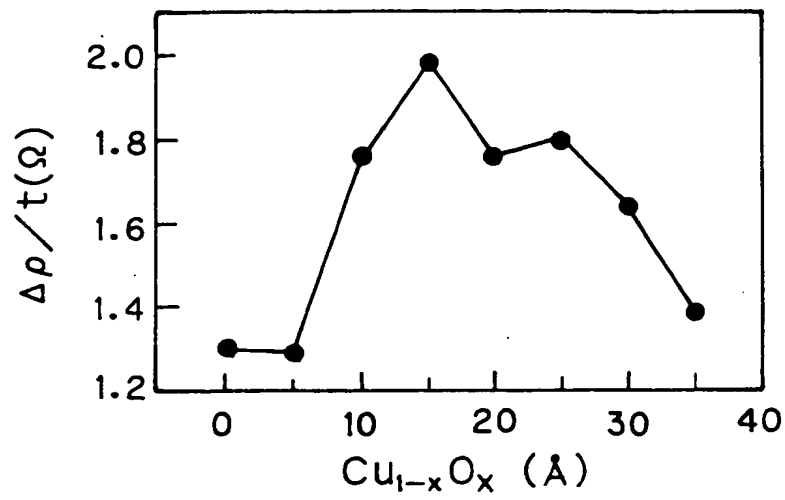
【図 7】



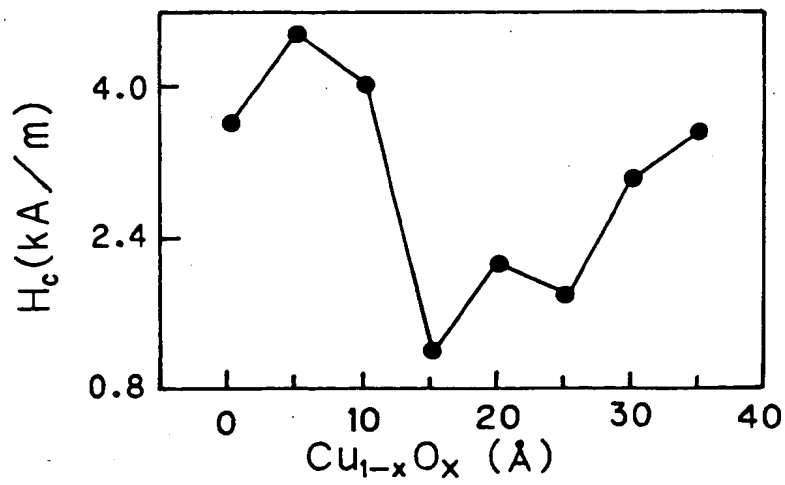
【図 8】



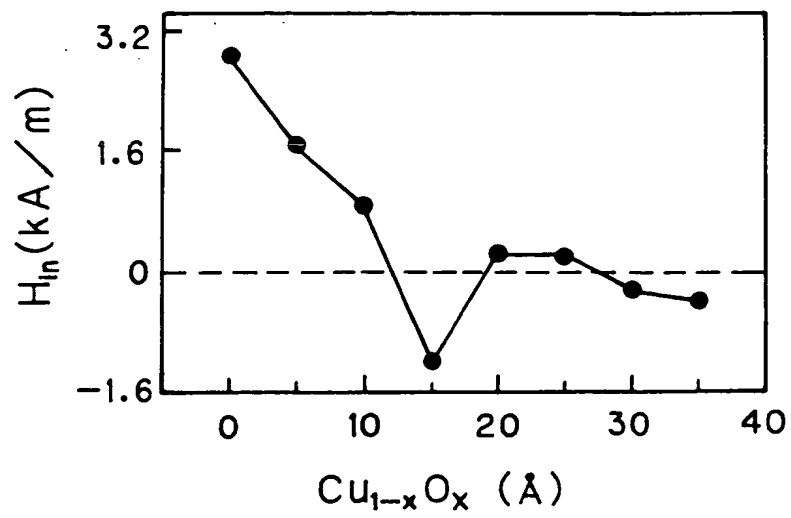
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 中間層の厚みの低減に伴う結合磁界の増大が抑制された磁気抵抗効果膜を提供する。

【解決手段】 方向が固定された磁化を有するピン層 3 と、そのピン層上に形成された非磁性の中間層 4 と、その中間層上に形成された、外部磁界に応じて方向が変化する磁化を有するフリー層 5 とを含む多層膜である、そのピン層の磁化の方向とそのフリー層の磁化の方向とがなす角度に応じた抵抗の大きさを示す磁気抵抗効果膜であって、上記フリー層上に直接に、あるいはそのフリー層との間にそのフリー層を構成する材料が酸化された材料からなる酸化層 6 を挟んで、銅元素を含む酸化物からなる銅酸化物層 7 が形成された。

【選択図】 図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日	1996年 3月26日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名	富士通株式会社